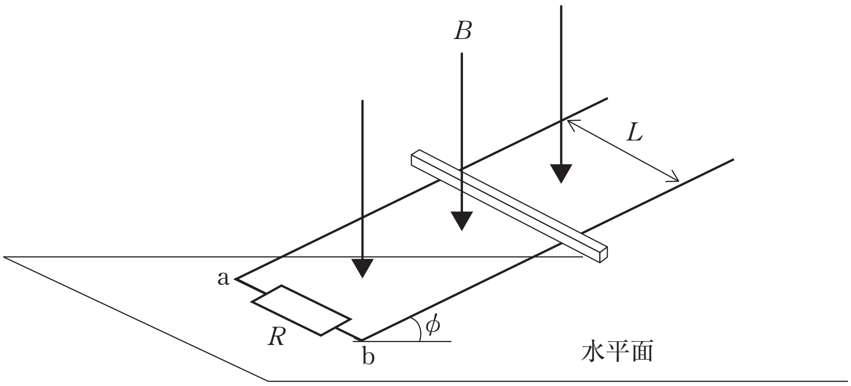
第42講　電磁誘導2

1

図のように，電気抵抗が無視できる金属棒を間隔 L で平行に並べてレールをつくり，水平面に対して傾斜角 ϕ で設置した。レールの下端 a，b は電気抵抗値 R の抵抗でつないである。ここで，レールと抵抗は動かないものとする。一様な磁束密度 B の磁界を鉛直下向きに印加した状態で，電気抵抗が無視できる質量 m の金属棒をレールの上に水平に静かに置いた。棒とレールとの摩擦は無視でき，棒はレールに対して常に直交しているものとする。重力加速度を g として，次の問に答えよ。



(1)　棒が動き始めたとき，抵抗に流れる電流の向きは図中の a → b と b → a のどちらか。理由をつけて答えよ。

(2)　棒が速さ v で動いているとき，抵抗に流れる電流の大きさを求めよ。

(3)　十分に時間が経過した後の棒の速さを求めよ。このとき，棒はレール上にあるものとする。

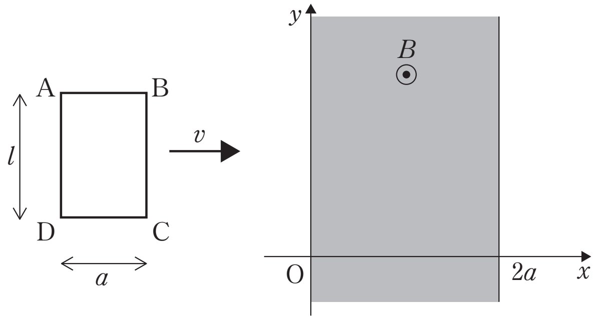
(4)　(3)の状態のとき，抵抗で単位時間あたり発生する熱エネルギー Q と重力が棒にする仕事率 P との比 $\dfrac{Q}{P}$ を求めよ。

＜ Note ＞

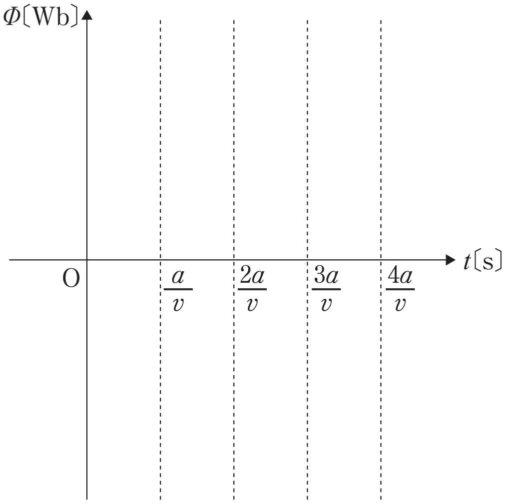
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，紙面に垂直で裏から表に向かう一様な磁束密度 B（[T] または [Wb/m^2]）の磁場が $0 \leqq x \leqq 2a$ [m] の領域にある。いま，長方形の1巻きコイル ABCD を x−y 平面上で，辺 AB を x 軸に平行にしたまま，一定の速さ v [m/s] で x 軸の正の方向へ移動させる。このコイルの抵抗を R [Ω]，辺 AB，CD の長さを a [m]，辺 AD，BC の長さを l [m] とする。コイル ABCD の辺 BC が y 軸と重なったときの時刻を $t=0$ [s] として，以下の問に答えよ。ただし，自己誘導および重力の効果は無視する。答えのグラフの横軸 t の範囲は $0 \leqq t \leqq \dfrac{4a}{v}$ [s] とせよ。



(1)　紙面の裏から表の向きにコイルを貫く磁束 Φ [Wb] の時間変化を下図に書き込め。



(1)の解答欄

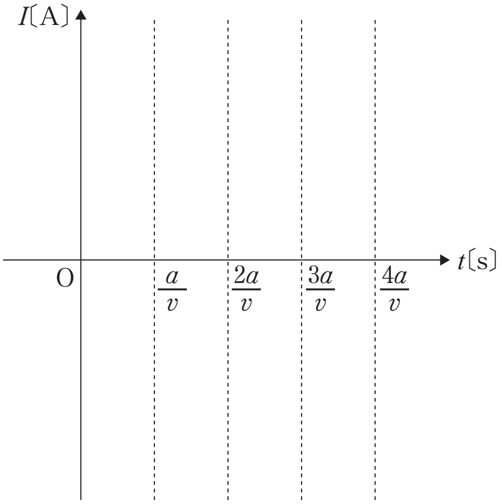
(2)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\dfrac{a}{v}$ [s] の間に，コイルに流れる電流 I [A] を求めよ。ただし，紙面の表から見て反時計回りに流れる電流を正とする。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　コイルに流れる電流 I [A] の時間変化を下図に書き込め。ただし，紙面の表から見て反時計回りに流れる電流を正とする。



(3)の解答欄

(4)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\dfrac{4a}{v}$ [s] の間に発生するジュール熱はいくらか。

(5)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\dfrac{a}{v}$ [s] の間に加えた外力の大きさと向きを求めよ。

(6)　コイルを一定の速度で移動させるために時刻 $t=0$ [s] から $t=\dfrac{4a}{v}$ [s] の間に加えた外力のした仕事はいくらか。

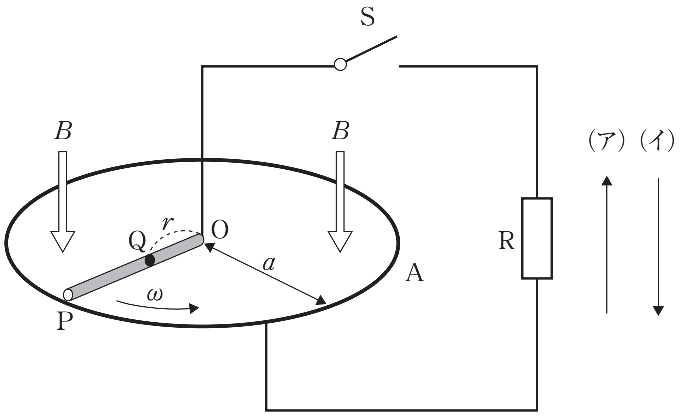
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように，磁束密度 B［T］の鉛直下向きで一様な磁場の中に，半径 a［m］の円形導線Aが水平に置かれている。また長さが a［m］で軽く細い導体棒OPを，円形導線Aの中心にそのO端を，またP端を円形導線Aに接触するように置いた。さらに導体棒OPと円形導線Aとの間に，スイッチSと抵抗値 R［Ω］の抵抗Rを接続した。ただし導体棒OPと円形導線Aの抵抗は無視でき，また両者の表面はなめらかであり摩擦は無視できるものとして，以下の各問に答えよ。



いまスイッチを開いた状態で，導体棒OPのP端を円形導線Aに常に接触させながら，一定の角速度 ω［rad/s］で図のような向きに回転させた。

(1) 導体棒OP中の電子はOPと共に回転するので，磁場からローレンツ力を受ける。O端から距離 r［m］の点Qにある電子（電荷 $-e$［C］）が受けるローレンツ力の大きさは，［あ］［N］であり，その結果，電子は［い］の向きに移動する。

(2) 導体棒OPが1秒間当たりに磁場を横切る面積は，［う］［m^2］である。

(3) 導体棒OPが1秒間当たりに横切る磁束が誘導起電力に等しいとすると，導体棒OPの両端に発生する誘導起電力の大きさは，［え］［V］である。

次にスイッチSを閉じると

(4) 抵抗Rには図の［お］の向きに電流が流れ，その強さは［か］［A］である。

(5) 導体棒OPが磁場から受ける力の大きさは，［き］［N］である。

(6) 導体棒OPを一定の角速度 ω［rad/s］で回転させるために必要な外力の仕事率は，［く］［W］である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

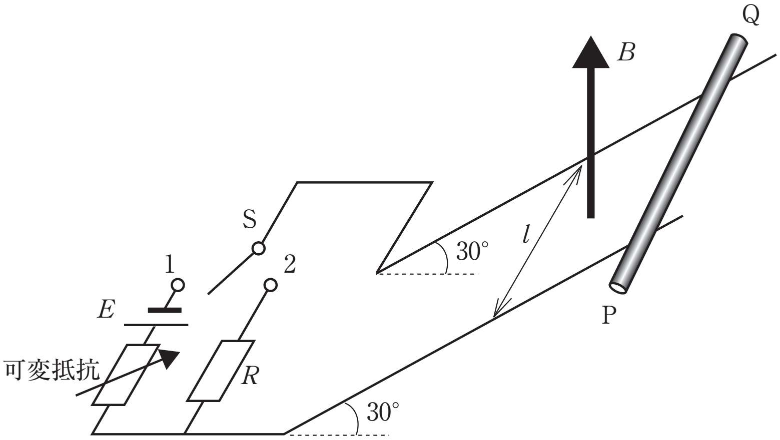
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 42 講　確認テスト

図のように，間隔 l で互いに平行で，かつ水平に対して 30° 傾いて設置された２本の金属製のレール（以下，単にレールと記す）があり，レールの下端には起電力 E の電池，可変抵抗，抵抗値 R の抵抗，および切り替えスイッチ S からなる回路が接続されている。レールのある領域には，磁束密度の大きさが B の一様な磁場（磁界）が鉛直上向きにかけられている。

レールに直交するように質量 m の導体棒 PQ を置き，スイッチ S を端子１の側に入れ，可変抵抗の値を調節したところ，導体棒 PQ は手を離してもレール上で静止し続けた。

可変抵抗および抵抗値 R の抵抗以外の電気抵抗，導体棒 PQ とレールとの間の摩擦はいずれも無視できるものとし，重力加速度の大きさを g とする。



問１　導体棒 PQ を流れる電流が磁場から受ける力のレールに平行な成分の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。 1

① $\dfrac{mg}{4}$　② $\dfrac{mg}{2}$　③ $\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{2}$　④ mg

⑤ $\dfrac{3mg}{2}$　⑥ $2mg$

問２　このとき，可変抵抗の抵抗値はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。 2

① $\dfrac{mgE}{2Bl}$　② $\dfrac{mgE}{Bl}$　③ $\dfrac{EBl}{mg}$　④ $\dfrac{\sqrt{3}\,EBl}{mg}$

⑤ $\dfrac{EBg}{ml}$　⑥ $\dfrac{3EBg}{ml}$　⑦ $\dfrac{mBl}{\sqrt{2}\,Eg}$　⑧ $\dfrac{mBl}{Eg}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に，スイッチＳを端子２の側に切り替えたところ，導体棒PQはレールに沿って下方に滑りだした。導体棒PQがレールの下端に達することは考えないものとする。

問３　導体棒PQの速さがvとなった瞬間，回路に流れる電流の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。［3］

① $\dfrac{vBl}{2R}$　② $\dfrac{\sqrt{3}\,vBl}{2R}$　③ $\dfrac{vBl}{R}$　④ $\dfrac{2vBl}{\sqrt{3}\,R}$

⑤ $\dfrac{\sqrt{3}\,vBl}{R}$　⑥ $\dfrac{2vBl}{R}$

問４　やがて導体棒PQは一定の速さでレール上を運動するようになる。このとき導体棒PQが単位時間に失う重力の位置エネルギーはいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。［4］

① $\dfrac{mgR}{3Bl}$　② $\dfrac{mgR}{2Bl}$　③ $\dfrac{2mgR}{3Bl}$　④ $\dfrac{\sqrt{3}\,mgR}{Bl}$

⑤ $\dfrac{1}{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2R$　⑥ $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2R$　⑦ $\dfrac{2}{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2R$　⑧ $\sqrt{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2R$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第42講　解答

1

(1)　b → a

(2)　$\dfrac{BLv\cos\phi}{R}$

(3)　$\dfrac{mgR\sin\phi}{(BL\cos\phi)^2}$

(4)　1

2

(1)　右図

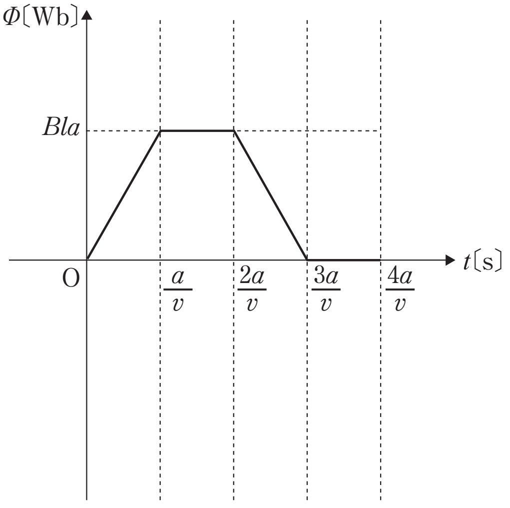
(2)　$-\dfrac{Blv}{R}$

(3)　右図下

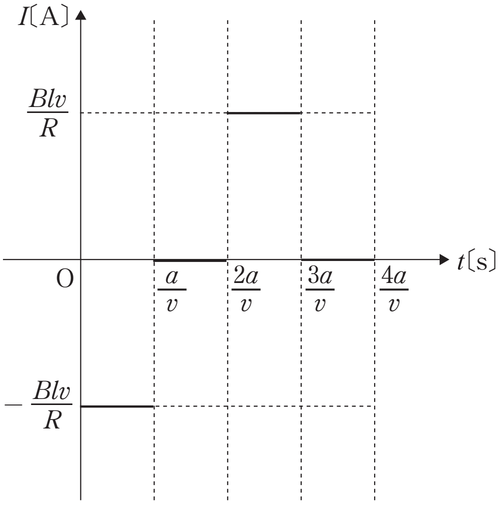
(4)　$\dfrac{2B^2l^2va}{R}$

(5)　$\dfrac{B^2l^2v}{R}$，x 軸正方向

(6)　$\dfrac{2B^2l^2va}{R}$



(1)の解答欄



(3)の解答欄

3

あ　$er\omega B$　　い　O → P　　う　$\dfrac{1}{2}a^2\omega$　　え　$\dfrac{1}{2}Ba^2\omega$

お　イ　　か　$\dfrac{Ba^2\omega}{2R}$　　き　$\dfrac{B^2a^3\omega}{2R}$　　く　$\dfrac{B^2a^4\omega^2}{4R}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第42講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　④　　3　②　　4　⑤

【解説】

問１

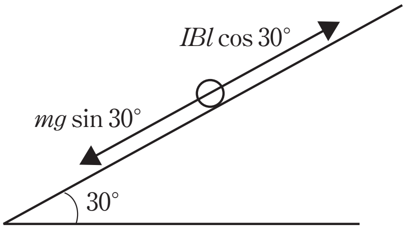
斜面に平行な方向の力のつり合いを考えて，$mg\sin 30^\circ = \boldsymbol{\frac{1}{2}mg}$ _1

問２

$$\begin{cases} \text{力のつりあい：} mg\sin 30^\circ = IBl\cos 30^\circ & \text{——①} \\ \text{回路について：} E = RI & \text{——②} \end{cases}$$

①②より I を消去して，

$$R = \boldsymbol{\frac{\sqrt{3}\,EBl}{mg}}$$ _2



問３

誘導起電力の大きさは，$V = Blv\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}Blv$ となるから，

$$i = \frac{V}{R} = \boldsymbol{\frac{\sqrt{3}\,Blv}{2R}}$$ _3

問４

導体棒にかかる斜面に平行な力の和が０になるから

$$mg\sin 30^\circ - iBl\cos 30^\circ = 0 \qquad \therefore \quad i = \frac{mg}{Bl}\tan 30^\circ = \frac{mg}{\sqrt{3}\,Bl}$$

問３の結果とあわせると，このときの棒の速さは

$$\frac{\sqrt{3}\,Blv}{2R} = \frac{mg}{\sqrt{3}\,Bl} \qquad \therefore \quad v = \frac{2mgR}{3B^2l^2}$$

よって，位置エネルギーの変化は

$$\Delta U = mg \times v\sin 30^\circ = \frac{m^2g^2R}{3B^2l^2} = \boldsymbol{\frac{1}{3}\left(\frac{mg}{Bl}\right)^2 R}$$ _4

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。